

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-048516

(43)Date of publication of application : 15.02.2002

(51)Int.Cl.

G01B 11/16

G01M 11/00

G02B 6/46

(21)Application number : 2000-233687

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

NTT INFRANET CO LTD

(22)Date of filing : 01.08.2000

(72)Inventor : KURII MASATO

OGATA KAZUYA

NOMURA YOSHIKAZU

SUGIURA SHINICHI

OISHI TAKAHIRO

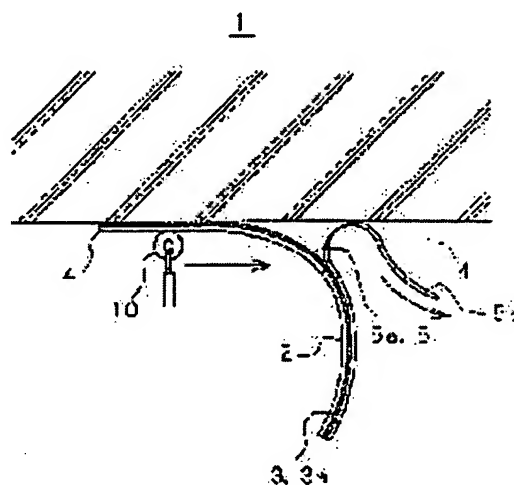
ASANO TETSUYA

(54) OPTICAL FIBER SENSOR, AND EXECUTION METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem such that a technique capable of detecting efficiently very small deformation in various kinds of structures such as a concrete structure in particular is required to be developed.

SOLUTION: This optical fiber sensor 2 is fixedly integrated to lay an optical fiber 4 secured with a longitudinal-directional elongation strain as an initial strain along a flexible installation member 3 attached to the structure 1, and the optical fiber sensor 2 is set to be laid onto the structure 1 in this execution method.



LEGAL STATUS

BEST AVAILABLE COPY

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-48516

(P2002-48516A)

(43) 公開日 平成14年2月15日 (2002.2.15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 0 1 B 11/16		G 0 1 B 11/16	Z 2 F 0 6 5
G 0 1 M 11/00		G 0 1 M 11/00	U 2 G 0 8 6
G 0 2 B 6/46		G 0 2 B 6/00	3 5 1 2 H 0 3 8

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-233687(P2000-233687)

(22) 出願日 平成12年8月1日 (2000.8.1)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(71) 出願人 500140127

エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社

東京都中央区日本橋浜町2-31-1

(72) 発明者 桑井 正人

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正哉 (外3名)

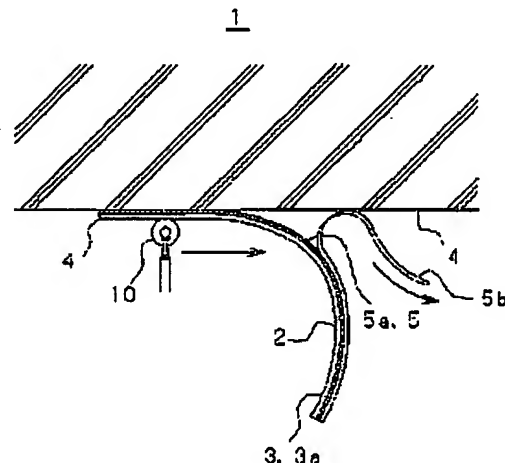
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバセンサおよびその施工方法

(57) 【要約】

【課題】 特に、コンクリート構造物等の各種構造物の微小な変形を効率良く検出できる技術の開発が求められていた。

【解決手段】 可撓性を有し構造物1に取り付けられる設置用部材3に、初期歪みとして長手方向の伸び歪みが確保された光ファイバ4を添わせるようにして固定して一体化した光ファイバセンサ2、並びに、この光ファイバセンサ2を構造物1に対して布設するようにして設置する施工方法を提供する。



(2)

特開2002-48516

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 構造物(1)の変形を光により検出する光ファイバセンサであって、

前記構造物に対して固定される可撓性の設置用部材

(3)に、初期歪みとして長手方向の伸び歪みが与えられた光ファイバ(4、4a、4b、4c)が添わせるようにして設けられていることを特徴とする光ファイバセンサ(2)。

【請求項2】 請求項1記載の光ファイバセンサを構造物に対して布設し、前記構造物に対して前記設置用部材を固定することにより、前記光ファイバセンサを前記構造物に添わせるようにして設置することを特徴とする光ファイバセンサの施工方法。

【請求項3】 前記光ファイバセンサを、筒状の構造物の断面周方向に沿って布設することを特徴とする請求項2記載の光ファイバセンサの施工方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、とう道、建物といったコンクリート構造物等の各種構造物の変形を光により検出する光ファイバセンサおよびその施工方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば、とう道、建物等のコンクリート構造物の変形の検出は、この構造物の変形発生の可能性のある箇所に、伸縮計、傾斜計等の変位計(電気式センサが採用される)を設置してポイント計測する方法が一般的である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述のような変形検出方法では、以下の問題点があった。

(1) ポイント計測であるので、構造物全体の変状規模等の変状の様子を把握することが困難である。構造物全体の変状の様子を把握するには、伸縮計、傾斜計等の変位計を構造物全体に設置する必要があり、設置数が増大になるため、設置に掛かる手間が増大になるとともに、構造物全体の変状規模等の変状の様子を把握するには多数の変位計からの計測データから総合的に解析することになり、把握に手間が掛かる。

(2) 伸縮計、傾斜計等の変位計として採用される電気式センサは、センサ自体に電源を必要とするため、保守管理の手間が掛かる。

(3) 伸縮計、傾斜計等の変位計として採用される電気式センサは、誘導電流等の電磁ノイズの影響を受けやすいため、例えばビル等の建物に設置された電気機器から放射される電磁波によって、誤計測する可能性がある。また、誤計測を防止するために変位計に電磁波シールド構造を採用すると、コストが大幅に上昇してしまう。

(4) 伸縮計、傾斜計等の変位計の計測データの収集用の信号線の配線が電源線の他に必要であり、施工に手間

が掛かる。

【0004】ところで、誘導電流等の電磁ノイズの影響を受けない変位センサとして、光ファイバを利用したものが注目されており、光ファイバの長手方向の歪み等の連続的な分布を高精度に観測する方法として、非線形現象の一つであるブリルアン散乱光の周波数シフト量が光ファイバの歪みに依存することを利用した手法が開発されている。しかしながら、構造物の変形検出を行うための光ファイバセンサとしては、構造物に対する取り付け等の施工性に優れるとともに、構造物の変形を光ファイバに効率良く作用させて曲げや伸び、破断等の変形を効率良く作用させ得る構造であることが求められており、これまで、これら条件を満たす適当なものが無かった。さらには、低コスト化の要求もあり、これら条件を満たす光ファイバセンサの開発が必要であった。

【0005】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたもので、構造物に対する施工が簡単であり、しかも、誘導電流等の電磁ノイズの影響を受けることなく、構造物全体の変状規模等の変状の様子を低コストで簡単に把握できる光ファイバセンサおよびその施工方法を提供することを目的とするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、構造物の変形、変位等を光により検出する光ファイバセンサであって、前記構造物に対して固定される可撓性の設置用部材に、初期歪みとして長手方向の伸び歪みが与えられた光ファイバが添わせるようにして設けられていることを特徴とする光ファイバセンサである。請求項2記載の発明は、請求項1記載の光ファイバセンサを構造物に対して布設し、前記構造物に対して前記設置用部材を固定することにより、前記光ファイバセンサを前記構造物に添わせるようにして設置することを特徴とする光ファイバセンサの施工方法である。請求項3記載の発明は、請求項2記載の光ファイバセンサの施工方法において、前記光ファイバセンサを、筒状の構造物の断面周方向に沿って布設することを特徴とする。

【0007】本発明に係る光ファイバセンサでは、構造物に変形が生じると、構造物の変形や変位が構造物に固定された設置用部材を介して光ファイバに伝達され、光ファイバに変形が与えられる。ここで光ファイバに与えられる変形とは、光ファイバの初期歪み(長手方向の伸び歪み)の変動等である。光ファイバに光を入射し、その戻り光を観測した結果、光ファイバの損失増大や、ブリルアン散乱光等を検出することで、構造物の変形を検出することができる。

【0008】本発明の光ファイバセンサでは、非線形現象の一つであるブリルアン散乱光の周波数シフト量が光ファイバの歪みに依存することを利用して、光ファイバの長手方向の歪み等の連続的な分布を高精度に観測することで、構造物の変形を検出、監視することができる。

(3)

特開2002-48516

3

すなわち、歪みが与えられた光ファイバに試験光を入射した時に生じる後方散乱光の一つであるブリルアン散乱光の波長は、光ファイバに入射した試験光の波長からずれており、この周波数シフト量から、光ファイバの歪み量を把握することができる。また、試験光の入射後、ブリルアン散乱光が受光、観測されるまでの時間（戻り時間）により、光ファイバの歪み発生位置の概略を把握することができる。

【0009】例えば、設置用部材を介して構造物に固定した光ファイバに、ブリルアン散乱光の観測用の光パルス試験器（いわゆるBOTDR）を接続し、この光パルス試験器を用いて光ファイバに光試験（試験光の入射と戻り光の観測）を行ってブリルアン散乱光を観測することで、構造物の変形を検出することができる。すなわち、設置用部材を介して構造物に固定した光ファイバに初期歪みとして与えられた長手方向の伸び歪みが、構造物の伸びや割れ（亀裂発生）、圧縮変形等の変形によって変化を受けると、光ファイバの光試験によってブリルアン散乱光を観測することで、構造物の変形を検出できる。前記「歪み量が変化」とは、構造物の変形による光ファイバの長手方向の伸び歪みが初期歪みに比べて増大または減少することであり、この歪み量の変化（以下「伸縮歪」）を検出することで、構造物の変形を検出できる。つまり、構造物に対して固定した光ファイバが構造物の変形と一体的に変形して伸縮歪を与えられると、この伸縮歪を、光ファイバの光試験によって検出することで、構造物の変形を検出できる。また、観測されたブリルアン散乱光の周波数シフト量から、光ファイバの歪み量を把握することができ、これにより、構造物の変形の程度を把握できる。さらに、観測されたブリルアン散乱光の戻り時間から、構造物の変形位置を計測できる。

【0010】ところで、例えばとう道、建物といった各種コンクリート構造物に対して光ファイバケーブル等の光ファイバを一体化するには、コンクリート壁に打ち込んだアンカー等の固定部品を利用して光ファイバを直接固定することが考えられるが、このような固定方法では、光ファイバに側圧を与えやすく、無用な曲げや伸縮歪を与えて、光ファイバの光試験の障害となるようなノイズ光の原因になることがある。また、光ファイバケーブルをコンクリート壁に直接固定するには、コンクリート壁の凹凸の平坦化や、消掃等といった前処理を充分に行う必要がある。この前処理に非常に手間が掛かるといった不満がある。固定部品が光ファイバに与える側圧や、構造物の凹凸の平坦化、清掃等、光ファイバの固定に伴う問題点は、コンクリート製構造物に限定されず、コンクリート製以外の構造物についても共通することである。

【0011】そこで、本発明者は、鋭意検討の結果、可換性の設置用部材に光ファイバを添わせるようにして固定して、全体に可換性を有する光ファイバセンサの構造

4

を見出した。この構成では、光ファイバを設置用部材を介して構造物に固定させるので、構造物表面に凹凸や亀裂等が存在していても、設置用部材に適用可能な各種固定方法により光ファイバセンサを構造物に対して固定することができ、光ファイバに急激な曲げ等を与えることなく構造物に対する光ファイバセンサの取り付け、一体化を効率良く行うことができる。構造物に対する設置用部材の固定は、例えば接着剤による接着や、アンカー等の固定部品による固定等、構造物表面の状態等に対応して適宜な手段を選択採用すれば良い。

【0012】但し、設置用部材は、必ずしも、その全長を構造物に対して一体化する必要は無く、途中に、構造物に固定されていない部分が存在していても良い。構造物に対して固定されていない部分が途中に存在していても、例えば、この固定されていない部分の設置用部材に構造物の変形（設置用部材が固定されていない部分を介して両側で相対的な変位が生じるような構造物の変形）によって変形が与えられ、この部分に初期歪みを以って布設するようにして設けられた光ファイバに伸縮歪を与えられるようになっていれば、構造物の変形を検出できる。光ファイバも、必ずしも、その全長を設置用部材に一体的に固定する必要は無く、設置用部材に対する固定は、部分的であっても良い。

【0013】設置用部材に対する光ファイバの固定も、必ずしも、光ファイバの全長を設置用部材に一体化させる必要は無く、光ファイバに初期歪みを確保できる構成であれば良く、例えば、光ファイバの長手方向複数箇所を間欠的に設置用部材に固定するようにしても良い。但し、設置用部材に対する光ファイバの固定が間欠的であると、構造物に対する光ファイバセンサの固定位置（構造物に対する設置用部材の固定位置）に、設置用部材に対する光ファイバの固定位置との関係を考慮すること等が必要となるから、構造物に対する光ファイバセンサの施工性、変形の検出精度の確保の点からは、光ファイバをその全長にわたって設置用部材に一体的に固定する構成を採用することがより好ましい。光ファイバは、例えば、少なくとも、構造物の特に変形の可能性が高い箇所等に設けられた領域（長手方向の領域）が、設置用部材を介して構造物の変形が伝達され、伸縮歪みを生じ得るように設けられれば良く、これによって構造物の変形を検出できる。

【0014】ところで、前記構造物の崩壊による災害回避等を目的して構造物の変形を検出、監視するには、構造物の微小な変形（歪み）を広範囲にわたって検出できる高精度のセンサが求められる。本発明に係る光ファイバセンサでは、設置用部材を介して構造物と一体化された光ファイバの伸縮歪みを把握することで構造物の変形を監視するので、光パルス試験器の分解能に応じて、高精度の変形監視を實現できる。また、初期歪みとして長手方向の伸び歪みが与えられた光ファイバの伸縮歪みを

(4)

特開2002-48516

5

検出するようにすることで、初期歪みとしての伸び歪みを与えない光ファイバと比較して、ブリルアン散乱光の観測時の光ファイバの歪み分布のばらつきを最小化することができ、光パルス試験器(BOTDR)による検出精度を向上できるという利点もある。歪み分布のばらつきに起因する検出ノイズを、光パルス試験器(BOTDR)の最小分解能以下にすることで、光パルス試験器の測定性能を充分に活用でき、測定信頼性を大幅に向上できる。

【0015】とう道やトンネル等といった、断面円筒状あるいは楕円筒状等の筒状のコンクリート構造物に生じる変状(変形)としては、その軸方向に沿った方向のクラック発生等の変状が最も多いことが知られている。請求項3記載の発明によれば、本発明に係る光ファイバセンサを、筒状の構造物の断面周方向に沿って設けるので、これにより、構造物の軸方向の変状(変形)を効率良く検出できる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下本発明の1実施の形態を、図面を参照して説明する。図1は、本発明に係る光ファイバセンサを利用して構造物1(ここではとう道)の変形を検出、監視する変形検出システム20を示す全体図、図2は構造物1の内面側に設けられた光ファイバセンサ2を示す図であって、(a)は横断面図(軸方向に垂直の断面)、(b)は縦断面図(軸方向に沿った断面)である。図3は、構造物1(とう道)内における光ファイバセンサ2の設置状態(周方向センサ2a)を示す図であって、(a)は横断面図(軸方向に垂直の断面)、(b)は縦断面図(軸方向に沿った断面)である。図中、構造物1として、断面リング状のコンクリート製筒状のとう道を例示している。

【0017】図4は、構造物1に対する光ファイバセンサ2の施工方法を示す図であって、前記光ファイバセンサ2の一部が構造物1に取り付けられた状態を示す断面図、図5は光ファイバセンサ2を示す断面斜視図である。図4および図5に示すように、光ファイバセンサ2は、設置用部材3と光ファイバ4とを一体化してなる帯状に形成され、構造物1(図4中、詳細には構造物1の内壁面)に固定される。

【0018】図1において、光ファイバセンサ2は、構造物1の内壁面に引き回すようにして布設、固定されており、構造物1の軸方向複数箇所に於て該構造物1の断面周方向に沿って該光ファイバセンサ2を布設、固定した部分である周方向センサ2aと、該光ファイバセンサ2を隣り合う周方向センサ2a間に渡すようにして配設して構造物1の軸方向に沿って布設、固定した軸方向センサ2bとを形成している。

【0019】図4および図5に示すように、光ファイバセンサ2は、シート状の設置用部材3と、長尺シート状の光ファイバケーブルである光ファイバ4とを、接着等

5

により密着固定して一体化して、全体として可撓性を有する帯状に形成されている。

【0020】設置用部材3は、例えば薄いステンレス板等の金属薄板や樹脂板等からなる長尺のシート3aと、このシート3aの一方の面に設けられた可塑性の接合材5とを一体化したものであり、全体として、可撓性を有する帯状に形成されている。この設置用部材3は、構造物1に固定しても該構造物1の変形を拘束することは無く、構造物1と一体的に変形するようになっている。

【0021】光ファイバ4は、樹脂中に光ファイバ(光ファイバ心線等)を埋設固定して一体化した構造のシート型の光ファイバケーブルであり、優れた可撓性を有する。図6(a)~(c)は、ここで用いられる光ファイバ4の一例を示す。但し、光ファイバの断面構造の違いに対応して、説明の便宜上、図6(a)~(c)に示す各光ファイバに符号4a、4b、4cを付すこととする。また、これら光ファイバ4a、4b、4cに共通の構成を説明する場合には、これら光ファイバ4a、4b、4cを「光ファイバ4」として総称する場合もある。

【0022】図6(a)~(c)において、光ファイバ4は、ポリイミドフィルム等の可撓性を有する樹脂フィルム7の一方の面に、アクリルフォーム等の樹脂フォームからなる接合材8を積層し、この接合材8中に光ファイバ素線や光ファイバ心線等の光ファイバ(以下「内部光ファイバ」)を埋設固定した構成であり、全体として可撓性を有するようになっている。そして、光ファイバ4は、前記接合材8の前記樹脂フィルム7とは逆側に形成された接合面8aを前記設置用部材3に接着固定して、設置用部材3に対して一体化される。具体的には、この光ファイバ4は、前記接合材8の接合面8aを、前記設置用部材3のシート3aに接着固定することで、設置用部材3と一体化される。

【0023】接合材8としては、接着剤が浸透されたアクリルフォーム等の樹脂フォームや、接着剤を含まない樹脂フォームの接合面8aに接着剤層が設けられたもの等が採用される。これらの接合材8を備えてなる光ファイバ4は、接合面8aに与えられた接着力により、例えばローラを用いて設置用部材3に押し付けるだけで簡単に接着固定できる。また、接合材8としては、感圧型接合材を採用することがより好ましい。図6(a)~(c)中、符号8bは感圧紙であり、光ファイバ4を設置用部材3に接着する際には、接合材8の接合面8aから剥がされる。

【0024】図6(a)~(c)に示す光ファイバ4a~4cは、いずれも接合材8の中央部に内部光ファイバを埋設したものであり、図6(a)に示す光ファイバ4aは光ファイバ素線等からなる内部光ファイバ9を1本埋設したもの、図6(b)に示す光ファイバ4bは光フ

(5)

特開2002-48516

7

ファイバ束等からなる内部光ファイバ9aを4本埋設したもので、図6(c)に示す光ファイバ4cは光ファイバ単心線等からなる内部光ファイバ9bを1本と、それに加えて温度補正用光ファイバ心線14をも埋設したものである。

【0025】光ファイバ4は、張力を与えながら設置用部材3に添わせるようにして固定する。これにより、初期歪みとして伸び歪みを与えられた光ファイバ4を設置用部材3と一体化してなる光ファイバセンサ2が得られる。前記初期歪みとして光ファイバ4に与えられる伸び歪みは、例えば、長さ当たり0.1%程度である。

【0026】この光ファイバセンサ2を構造物1内壁面にライン状に布設固定することで、周方向センサ2a、軸方向センサ2bが形成される。図1において具体的には、1本の光ファイバセンサ2の布設、固定によって、周方向センサ2aと軸方向センサ2bとが交互に形成されている。

【0027】図4に示すように、光ファイバセンサ2は、構造物1に沿ってローラ10等で圧着しながら接着することで、設置用部材3に設けられている接合材5の接合面5aの接着力により構造物1に対して密着固定し、さらに、構造物1に対する接着が済んだ設置用部材3を顔6(図5参照)の打ち込みによって構造物1に対して固定される。ここで、接合材5としては、特に、感圧型接着剤が混練された樹脂フォームからなる感圧接着型のものを採用することが特に好ましく、この場合、接合材5は構造物1に対して押圧されるまで接着力が弱いかまたは発現されないため、例えば、構造物1の目的の固定位置に位置決めした後に構造物1に対して押圧することで、目的の固定位置以外に接着してしまうといった不都合を防止でき、取り扱いが容易になるといった利点がある。

【0028】設置用部材3は、接合材5の接合面5aに貼り付けられた易剥離性の離型紙5bを剥がしつつ、順次、構造物1に接着固定していく。ここで、設置用部材3は、ローラ10等による構造物1に対する圧着の際に、樹脂フォームから組成変形可能に形成された層状の接合材5の変形によって構造物1表面の凹凸を吸収するため、構造物1に対する接着完了後には、構造物1とは反対側の面、つまり、図4中下側のシート3aは、平坦あるいは緩やかに湾曲され、光ファイバ4に光特性に影響を与えるような急激な曲げや屈曲を与えない。次に、構造物1に対する接着固定が済んだ設置用部材3を、順次、顔6によって構造物1に対して固定していく。これにより、光ファイバセンサ2が、構造物1の内壁面に固定され、一体化される。図5中、符号13は、設置用部材3に形成された鉄打ちこみ穴である。この鉄打ちこみ穴13は、帯状の設置用部材3の長手方向に垂直な幅方向両端に設けられており、前記幅方向中央部の光ファイバ4接着領域を避けている。

8

【0029】光ファイバセンサ2は、構造物1全体の変形を高精度に検出する点では、その全長を構造物1に対して一体化することが好ましいが、構造物1に存在する凹所や、突起、構造物1に配設された配管等に対しては、適宜、これらを跨ぐようにして設置される。光ファイバセンサ2は、優れた信頼性を有するから、構造物1に存在する凹所や、突起、構造物1に配設された配管等を回避しつつ配設することが容易であり、構造物1に対する設置作業性を向上できる。

【0030】構造物1に設置された光ファイバセンサ2では、構造物1の変形によって設置用部材3が変形されると、変形容易な設置用部材3を介して構造物1に対して一体化されている光ファイバ4も、この設置用部材3と一体的に変形されるようになっており、結局、構造物1が変形すると、設置用部材3を介して光ファイバ4も構造物1と一体的に変形されるようになっている。したがって、光ファイバ4の片端に接続した光パルス試験器23(BOTDR、図1参照)によって、この光ファイバ4の光試験(試験光の入射と戻り光の観測)を行い、ブリルアン散乱光の観測によって光ファイバ4の伸縮歪を検出することで構造物1の変形を検出、監視することができる。

【0031】図1において、変形検出システム20は、とう道である構造物1に施工された光ファイバセンサ2を構成する光ファイバ4を、監視所22に設置された光パルス試験器23によって光試験(試験光の入射並びに戻り光の観測)することで、構造物1の変形を検出、監視するものである。ここでは、光パルス試験器23として、ブリルアン散乱光の観測用のいわゆるBOTDRを採用し、光ファイバの長手方向の歪み量の連続的な分布を高精度に観測することで、断面リング状のコンクリート製のとう道である構造物1の変形を検出、監視する構成を例に説明する。なお、図1において、符号24は立坑であり、とう道である構造物1は、立坑24から延びている。立坑24は、監視所22へのケーブル引き込み用のとう道26を介して監視所22と連通されている。

【0032】図1において、構造物1に施工された光ファイバセンサ2の光ファイバ4は、立坑24やとう道26を介して監視所22に導かれ、監視所22に設置された成端箱27にて光パルス試験器23側の光ファイバ28と接続されている。図1では、光パルス試験器23には、1本の光ファイバセンサ2が接続されているが、成端箱27を介することで、複数本の光ファイバセンサ2の光ファイバ4を光パルス試験器23と選択的に切り換え接続することも可能である。光ファイバセンサ2の光ファイバ4(具体的には、光ファイバケーブルである光ファイバ4の内部光ファイバ)は、成端箱27を介して、光パルス試験器23に対して試験光入射可能に接続される。光ファイバ4に内蔵の内部光ファイバが複数本である場合は、これら内部光ファイバに選択的に、光パ